

ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЕРФУЗИИ МИОКАРДА

Живоглядов Д.И., Шария М.А.

Данный научный обзор посвящен теме лучевой диагностики в оценке перфузии миокарда. Описаны диагностические возможности «рутинных» методов исследования сердца (ЭхоКГ, КТ), так и новейших методик, которые внедряются в современную практику, например, ядерной сцинтиграфии (ПЭТ-КТ), МРТ. Представлены преимущества каждого из методов, а также ограничения их применения в клинической практике.

ГБОУ ВПО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова. Кафедра лучевой диагностики и терапии. Москва, Россия

Ключевые слова: перфузия миокарда, ядерная сцинтиграфия (ОФЭКТ/ПЭТ-КТ), стресс-ЭхоКГ, КТ-ангиография, МРТ.

RADIOLOGICAL EXAMINATION IN THE EVALUATION OF MYOCARDIAL PERFUSION

Zhivoglyadov D.I., Sharia M.A.

This scientific review is on the theme of diagnostic imaging in the evaluation of myocardial perfusion. The diagnostic possibilities of "routine" methods of investigation of the heart (echocardiography, CT), and the latest techniques, which are implemented in modern practice, for example, nuclear scintigraphy (PET-CT), MRI are described. The advantages of each method, as well as the restrictions on their use in clinical practice are also presented..

First Moscow Medical University named by IM Sechenov. Department of Radiation diagnostics and therapy. Moscow, Russia

Keywords: myocardial perfusion, nuclear scintigraphy (SPECT/PET-CT), stress echocardiography, CT-angiography, MRI.

Ишемическая болезнь сердца остается одной из главных причин смертности во всем мире [1,2]. Атеросклеротическая бляшка в коронарной артерии, увеличиваясь, постепенно приводит к снижению кровотока в артериях, что в дальнейшем приводит к ишемии миокарда, а в крайних случаях – инфаркту миокарда. Исследование коронарных артерий включает в себя оценку степени стеноза с помощью лучевых методов диагностики: ядерная сцинтиграфия (ОФЭКТ/ПЭТКТ), стресс-ЭхоКГ, КТ и МРТ сердца [3,4].

Ядерная сцинтиграфия (ОФЭКТ/ПЭТ-КТ).

ОФЭКТ и ПЭТ-КТ являются наиболее современными методами оценки перфузии миокарда. Оба метода позволяют одновременно оценивать степень насыщенности миокарда кислородом, но и, кроме того, помогают выстроить анатомическую картину сердца с участками ишемии благодаря КТ [5,6]. Как показали исследования Р.А. Kaufmann and M.F. Di

Carli (2009), специфичность и чувствительность этих функциональных тестов колеблется в среднем от 73-87% и до 97% соответственно [7]. Недостаток данной методики заключается в том что, ОФЭКТ и ПЭТ-КТ дают оценку степени нарушения перфузии только в тех областях сердца, в которых наиболее выражен тромбоз коронарных артерий [8,9]. В проведенных клинических исследованиях было показано, что из 101 пациента с выраженным стенозом левой коронарной артерии с помощью радионуклидного теста было выявлено 59% пациентов с данной патологией, а с другой стороны, пациентов со степенью стеноза ЛКА в 5% было выявлено всего 15% [10]. Недавно полученные данные свидетельствуют о том, что совместное использование одновременно 2-х методов позволяет частично повысить результаты исследования (Рис. 1).

Кроме того, ПЭТ даёт возможность получить абсолютные показатели миокардиального кровотока (мл/мин/г), а также оценить так

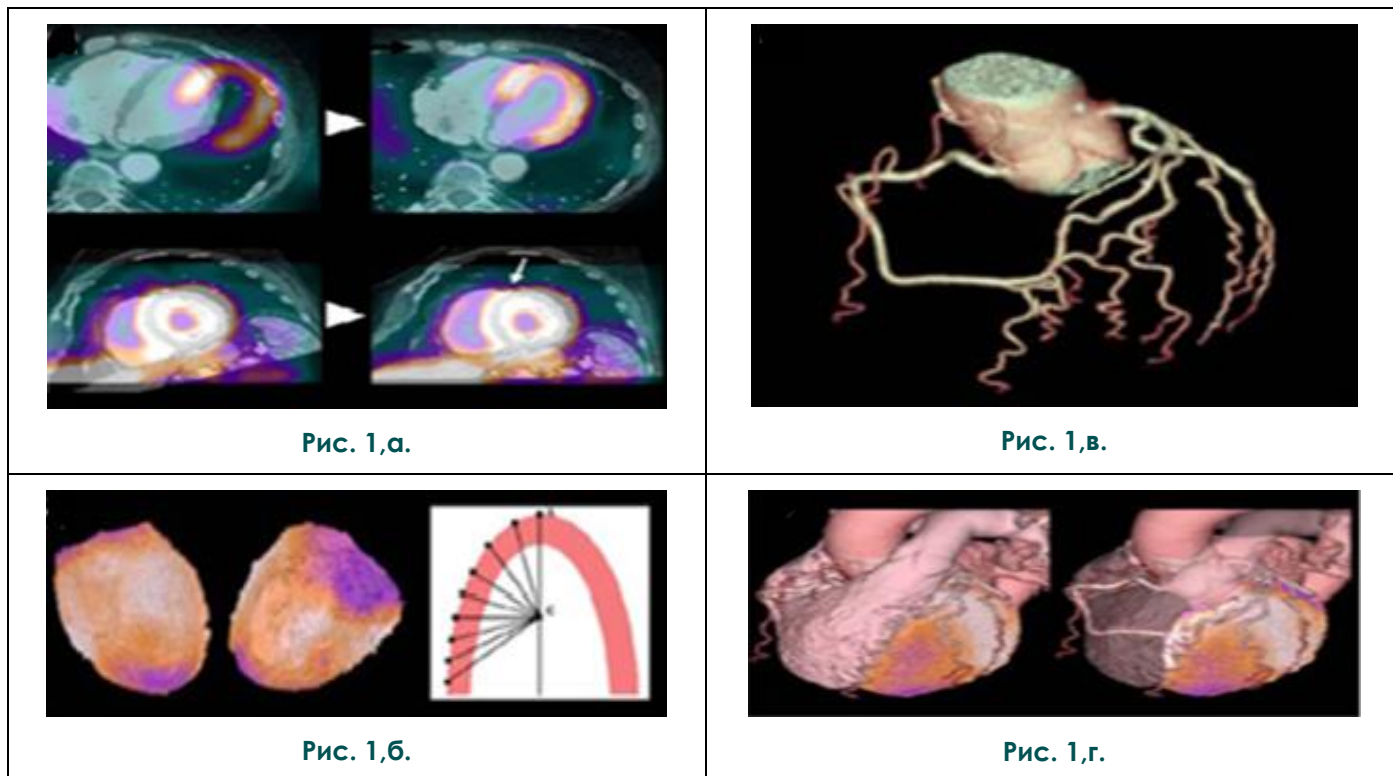


Рис. 1,а.

Рис. 1,в.

Рис. 1,б.

Рис. 1,г.

Рис. 1. ПЭТ-КТ.

Иллюстрация получения перфузионного изображения: А – регистрация изображения, В – определение эпикардального контура, С – сегментация коронарных артерий, D – объёмное изображение.

Из монографии P.A.KaufmannandM.F. DiCarli 2009 г.

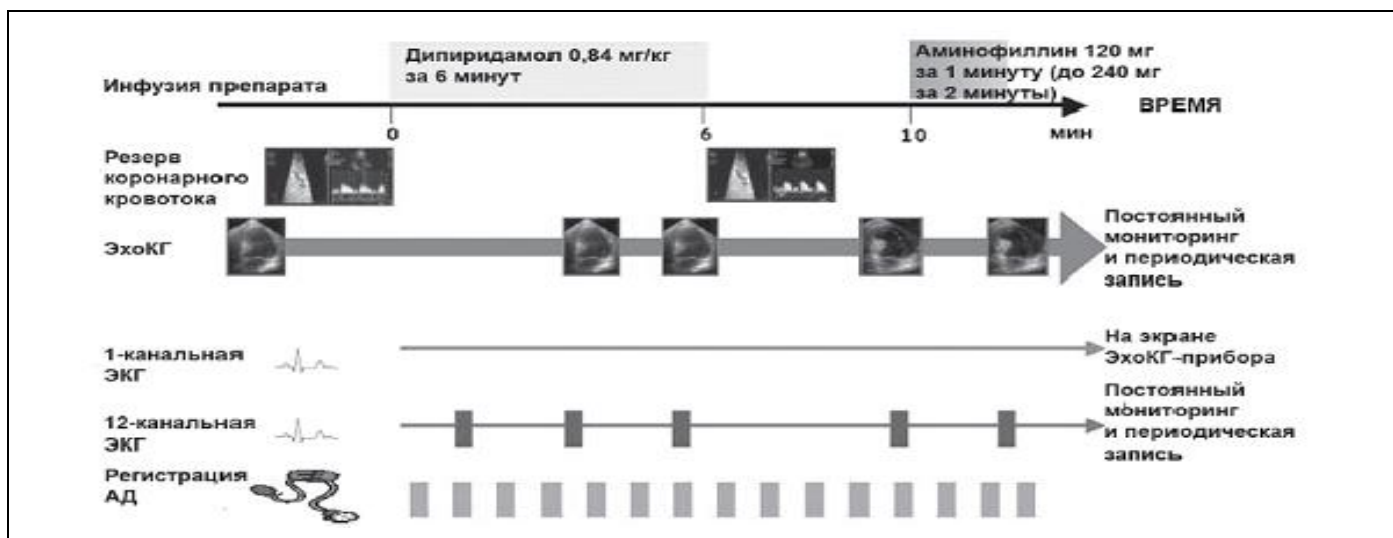


Рис. 2. ЭхоКГ.

Схема современного протокола стресс-эхокардиографии с дипиридамолом.

Источник: Российский кардиологический журнал 2013; 4 (102), приложение 2.

называемый «коронарный резерв» сердца [11]. Так у пациентов со «сбалансированной» или диффузной ишемией сердца определение «коронарного резерва» позволяет выявить мелкие участки миокарда, находящиеся в ишемии, в отличие от того, если бы мы проводили относительную оценку степени жизнеспособности все-

го миокарда в целом [12]. Важно указать, что этот подход был применен в проспективных клинических испытаниях [13,14].

К недостаткам данной методики M.F. Di Carli (2009) относит неспособность обнаружить проявления атеросклероза коронарных артерий еще на доклинической стадии [15,16]. Это не

Ежегодный риск неблагоприятных событий	Средний (1–3% в год)	Высокий (>10% в год)
Доза/нагрузка	Высокая	Низкая
ФВ в покое	>50%	< 40%
Антиишемическая терапия	Отменена	Продолжена
Поражение коронарных артерий	Левая огибающая/правая коронарная артерии	Левая передняя межжелудочковая артерия
Индекс нарушения локальной сократимости на высоте нагрузки	Низкий	Высокий
Восстановление	Быстрое	Медленное
Положительный ответ, исходные нарушения сократимости	В одной зоне	В нескольких зонах
Резерв коронарного кровотока	>2	< 2

Рис. 3.

Рис. 3. Стресс ЭхоКГ.

Стратификация риска при положительном результате стресс-ЭхоКГ.

Источник: Российский кардиологический журнал 2013; 4 (102), приложение 2.

Ежегодный риск неблагоприятных событий	Очень низкий (<0,5% в год)	Низкий (1–3% в год)
Нагрузка	Максимальная	Субмаксимальная
ФВ в покое	>50%	< 40%
Антиишемическая терапия	Отменена	Продолжена
Резерв коронарного кровотока	>2,0	< 2,0

Рис. 4.

Рис. 4. Стресс ЭхоКГ.

Стратификация риска при отрицательном результате стресс-ЭхоКГ.

Источник: Российский кардиологический журнал 2013; 4 (102), приложение 2.

является слишком серьёзным недостатком, так как изначально ОФЭКТ и ПЭТ-КТ разрабатывались как метод оценки степени жизнеспособности миокарда. Именно благодаря этому можно частично объяснить ограничение использования перфузионных изображений для оценки степени риска развития ИБС [17].

Стресс-ЭхоКГ.

Стресс-ЭхоКГ считается достаточно надежным методом выявления ишемии, основанный на том, что ишемия миокарда, возникающая при нагрузке, сопровождается нарушением его локальной сократимости [18,19]. В качестве нагрузки используют физическую, фармакологическую нагрузку (добутамин) и пейсмейкерную стимуляцию (Рис. 2).

Как показывают исследования Pисано E. (2007), диагностическая точность стресс-ЭхоКГ выше, чем обычной нагрузочной ЭКГ-пробы (ВЭМ) и позволяет применять ее в случае исходного снижения информативности ВЭМ (БЛНПГ, изменения сегмента ST в покое, особенно у женщин, гипертрофия миокарда ЛЖ и т.д.) [20,21]. Существует еще один вид стресс-ЭхоКГ – обнаружение жизнеспособного миокарда малыми дозами стресс-агентов [22]. Но эта ситуация больше предназначена для кардиохирургии или других клинических задач.

Основная роль стресс-ЭхоКГ заключается в выявлении скомпрометированного ишемией миокарда (Рис. 3, Рис. 4).

Показания (как и большинство противопоказаний) для стресс-ЭхоКГ те же, что и к нагрузочной ЭКГ-пробе (ВЭМ) [23]. Надо отметить, что нагрузочная стресс-ЭхоКГ более физиологична по сравнению с фармакологической, но имеет ряд существенных недостатков, резко ограничивающих ее применение: а) около 1/3 пациентов не могут достигнуть должной нагрузки из-за заболеваний периферических сосудов, легких, опорно-двигательного аппарата, плохой тренированности;

б) избыточная гипервентиляция легких сужает ультразвуковое окно и снижает качество изображения [24,25].

При использовании фармакологических агентов данные трудности нивелируются, но схема проведения пробы несколько усложняется – используется инфузomat и, возможно, потребуется дополнительное введение других препаратов (атропин, бета-блокаторы) [26]. Основным недостатком всех стресс-ЭхоКГ – субъективизм. Для уменьшения данного факта используют специальные стресс-программы, позволяющие одновременно выводить на экран монитора изображения, записанные синхронно в

процессе различных стадий исследования (например, в покое и на пике нагрузки) и сравнивать их [27]. Надо также знать, что в процедуре применяют участие два врача (первый оценивает УЗ-показатели, другой – ЭКГ, АД, клинические параметры, и если это фармакологический стресс-агент, то и скорость введения препарата). Все это способствует повышению качества и безопасности процедуры [28,29]

КТ-ангиография сердца.

Мультidetекторная КТ-коронароангиография позволяет оценить просвет коронарных артерий сердца, толщину стенки миокарда, состояние клапанов сердца, а также визуализировать в общем плане все сердце. Исходя из этих данных, можно сделать вывод о том, что данная методика позволяет с большой вероятностью оценить степень насыщения миокарда кислородом, а также определить причины снижения его насыщения [30,31,32,33].

МСКТ является высокоточным методом диагностики атеросклероза коронарных артерий и оценки фракции выброса ЛЖ. Однако следует отметить, что по-прежнему сохраняются ограничения метода такие, как выраженный кальциноз коронарных артерий, аритмия и высокая частота сердечных сокращений [34,35,36,37].

Немаловажную роль в оценке перфузии миокарда играет количество детекторов установленных на аппарате КТ. Так, если использовать 64-детекторный компьютерный томограф, то специфичность теста доходит до 92%, а чувствительность – 83%, в отличие от того, если бы мы использовали, например, 16-детекторный компьютерный томограф [38,39].

В научной литературе описаны основные противопоказания для проведения компьютер-

ной томографии, применяемые в настоящее время: выраженная почечная недостаточность, индивидуальная непереносимость йодсодержащих контрастных препаратов. Поскольку КТ связано с воздействием радиации на организм человека, люди, которые потенциально могут быть более восприимчивы к нему (например, беременные женщины) попадают в группу лиц с относительными противопоказаниями [40,41].

Из исследований Gary Liew и соавторов (2013), КТ оценка перфузии миокарда преимущественно определяется пространственным разрешением изображения и, в меньшей степени, контрастностью, в отличие от МРТ. Кроме того, артефакты изображений при КТ могут быть интерпретированы как зоны ишемии миокарда. Причиной этого могут быть постоянное движение сердца или *шумы изображения* [42,43]. Особый артефакт, который может привести к появлению зон ишемии миокарда на КТ-изображениях, связан с так называемым эффектом *укрепления* рентгеновского луча – уменьшение энергии рентгеновских лучей при прохождении через плотные структуры. К таким плотным структурам можно отнести металлические конструкции в сосудах сердца (клипсы, скрепки), а также и органические структуры такие, как левый желудочек (утолщенная его стенка). Решением этой проблемы является использование КТ-аппарата, синхронизированного с ЭКГ [44,45].

Постобработка изображений КТ сердца быстра и проста. Оператор должен выбрать интересующую область для реконструкции и желаемую фазу в сердечном цикле (для ретроспективного исследования) (Рис. 5) [46,47].

Хотя перфузионные изображения могут быть рассмотрены в любой фазе, как правило,

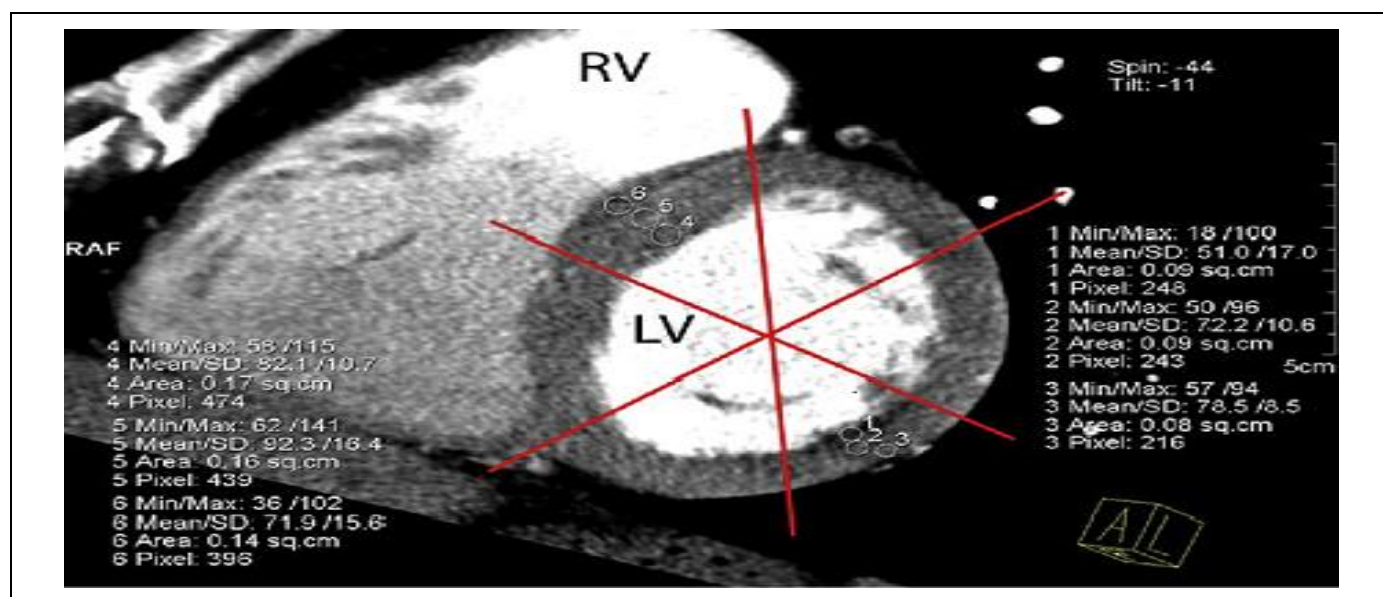


Рис. 5. МСКТ сердца.

Разделение зоны левого желудочка на 6 сегментов. Вручную выделены зоны интереса 1-6.

Из монографии Academic Radiology 2013 г.

они интерпретируются в середину диастолы. Затем изображения сравнивают с теми, которые были получены во время стресс-теста для того, чтобы оценить наличие очагов ишемии и определить их характер – обратимый или нет [48,49].

МРТ в диагностике перфузии миокарда.

Большое количество доклинических и клинических исследований за последние десятилетия доказали высокую эффективность МРТ в диагностике заболеваний сердца [50,51,52]. Некоторые отличительные признаки позволяют отнести этот метод лучевой диагностики к наиболее востребованным, а именно: отсутствие радиоактивного облучения, высокое пространственное разрешение, превосходная воспроизводимость как отдельных анатомических структур, так и всего тела в целом [53,54,55].

Не стоит забывать и то, что наиболее частой причиной ИБС считается атеросклероз сосудов сердца. По результатам исследований, проведенных Страздён Е.Ю., Шария М.А., Тарарак Э.М., Устюжаниным Д.В. (2013), была доказана эффективность этого метода в оценке стабильности атеросклеротической бляшки: установлена высокая чувствительность (96%) и специфичность (87%) метода МРТ [56].

Ишемия миокарда, как основное проявление ИБС, может быть обнаружена двумя различными методами МРТ: расширенной контрастной перфузией миокарда или стресс-тестом с добутамином. Второй по точности исследования сопоставим со сцинтиграфией сердца [57]. Стресс-тест с добутамином направлен на выявление степени выраженности нарушения коронарного кровообращения за счет математического подсчета разницы между максимальный кровотоком (полученным после внутрисосудистого введения добутамина) и кровотоком в покое. Полученная разница показывает сте-

пень отклонения полученных значений от нормализованных [58]. Не стоит забывать и то, что нельзя опираться только на визуальную оценку полученных данных, а иметь в виду стандартные критерии, которые позволяют специалисту дифференцировать потери сигнала при гипоперфузии миокарда от артефактов. Это указывает на то, что «чтение» критериев должно также оценивать качество полученного изображения (а именно: последовательность импульсов, тип и доза контрастного препарата) [59,60,61].

Первый этап перфузионных исследований осуществляется во время задержки дыхания, и, следовательно, любой тип количественного анализа следует начать с регистрации данных появляющихся с течением времени, поэтому любые движения, вызванные дыханием или движением диафрагмы, должны быть устранены либо путем ручной настройки параметров аппарата МРТ, либо с использованием полуавтоматических алгоритмов [62]. На основании количественных результатов строятся кривые интенсивности сигнала, рассчитанные для различных участков субэндокардиального и трансмурального слоёв миокарда, идеально охватывая весь левый желудочек сердца (Рис. 6) [63,64].

МРТ перфузия миокарда потенциально наиболее точный метод исследования для неинвазивной оценки перфузии миокарда у людей. Однако, если МРТ должна стать методом первой линии в клинической практике, ее надежность, универсальность и безопасность должны быть продемонстрированы в большем количестве многопрофильных больниц [65,66,67,68].

Заключение.

Главной особенностью ИБС является хроническое течение (несколько десятилетий). Иногда клинические проявления заболевания могут выявиться еще на ранней стадии, но, в тоже

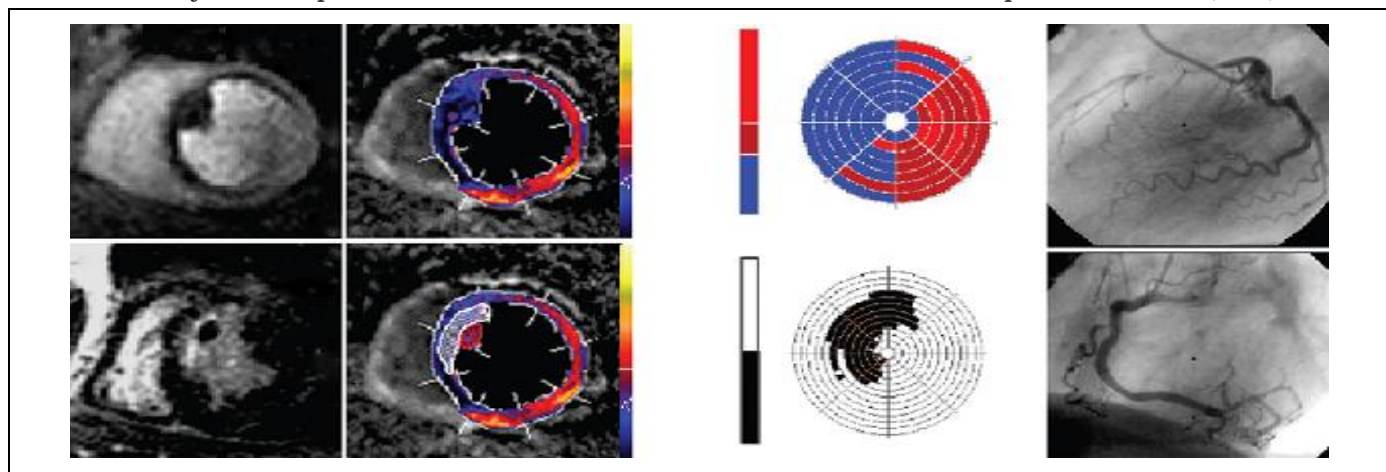


Рис. 6. МСКТ сердца.

На снимке отчетливо видны зоны снижения/отсутствия перфузии миокарда, что также определяется на полярных картах. При коронароангиографии выявляется окклюзия левой передней нисходящей коронарной артерий.

Juerg Schwitter Cardiovascular Magnetic Resonance 2009.

время, оно может не заявлять о себе очень долго и привести к таким сосудистым катастрофам, как инфаркт миокарда или инсульт. Выявление ИБС должно происходить на раннем этапе диагностики пациента, чтобы предотвратить в дальнейшем переход заболевания в тяжелую стадию с дальнейшим смертельным исходом.

Поскольку количество триггерных механизмов, вызывающих прогрессирование ИБС, пока не известно, наличие современных мето-

дов лучевой диагностики позволяет длительно контролировать этот процесс. Это дает высокую чувствительность и специфичность для обнаружения патологических процессов в сосуде, нарушающих нормальный ток крови.

Активная стратегия развития в этом направлении диагностики поможет в разы снизить частоту возникновения внезапных сердечных смертей.

Список литературы:

1. Roger VL, Go AS, Lloyd-Jones DM, et al: American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee: Heart disease and stroke statistics—2001 update: A report from the American Heart Association. *Circulation* 123:e18-e209, 2011.
2. Ali B, Hsiao E, Di Carli MF: Combined anatomic and perfusion imaging of the heart. *CurrCardiol Rep* 12:90-97, 2010.
3. Di Carli MF, Hachamovitch R: New technology for noninvasive evaluation of coronary artery disease. *Circulation* 115:1464-1480, 2007.
4. Berman DS, Wong ND, Gransar H, et al: Relationship between stress-induced myocardial ischemia and atherosclerosis measured by coronary calcium tomography. *J Am CollCardiol* 44:923-930, 2004.
5. Gaemperli O, Schepis T, Kalff V, et al: Validation of a new cardiac image fusion software for three-dimensional integration of myocardial perfusion SPECT and stand-alone 64-slice CT angiography. *Eur J NuclMedMolImaging* 34:1097-1106, 2007.
6. Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, et al: Cardiac image fusion from stand-alone SPECT and CT: Clinical experience. *J Nucl Med* 48:696-703, 2007.
7. Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, et al: ACC: /AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging—Executive summary: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to revise the 1995 guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging). *J Am CollCardiol* 42:1318-1333, 2003.
8. Di Carli MF, Dorbala S, Meserve J, et al: Clinical myocardial perfusion PET/CT. *J Nucl Med* 48:783-793, 2007.
9. Schuijff JD, Wijns W, Jukema JW, et al: Relationship between noninvasive coronary angiography with multi-slice computed tomography and myocardial perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol* 48:2508-2514, 2006.
10. Di Carli MF, Dorbala S, Curillova Z, et al: Relationship between CT coronary angiography and stress perfusion imaging in patients with suspected ischemic heart disease assessed by integrated PET-CT imaging. *J Nucl Cardiol* 14:799-809, 2007.
11. Shaw LJ, Iskandrian AE: Prognostic value of gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 11:171-185, 2004
12. Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al: Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: Results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 52:1724-1732, 2008
13. Alexander J, Dainiak N, Berger HJ, et al: Serial assessment of doxorubicin cardiotoxicity with quantitative radionuclide angiography. *N Engl J Med* 1979;300:278-283.
14. Schwartz RG, McKenzie WB, Alexander J, et al: Congestive heart failure and left ventricular dysfunction complicating doxorubicin therapy. Seven-year experience using serial radionuclide angiography. *Am J Med* 1987;82:1109-1118
15. Miller JM, Dewey M, Vavere AL, et al: Coronary CT angiography using 64 detector rows: Methods and design of the multicentre trial CORE-EurRadiol 19:816-828, 2009
16. Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al: Coronary artery evaluation using 64-row multidetector computed tomography angiography (CORE-64): Results of a multicenter, international trial to assess diagnostic accuracy compared with conventional coronary angiography. *Circulation* 116:2630, 2007
17. Hoffmann U, Moselewski F, Cury RC, et al: Predictive value of 16-slice multidetector spiral computed tomography to detect significant obstructive coronary artery disease in patients at high risk for coronary artery disease: Patient-versus segment-based analysis. *Circulation* 110:2638-2643, 2004
18. Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA, et al: High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation* 112:2318-2323, 2005
19. Schepis T, Gaemperli O, Koepfli P, et al: Added value of coronary artery calcium score as an adjunct to gated SPECT for the evaluation of coronary artery disease in an intermediate-risk population. *J Nucl Med* 48:1424-1430, 2007
20. Picano E. Stress echocardiography: a historical perspective. Special article. *Am J Med* 2003; 114: 126-30.
21. Picano E. Stress echocardiography. 4th ed. Heidelberg, Germany: Springer Verlag; 2003.
22. Picano E, Pasanisi E, Brown J, Marwick TH. A gatekeeper for the gatekeeper; inappropriate referrals to stress echocardiography. *Am Heart J* 2007;154:126-32.
23. Amis ES Jr, Butler PF, Applegate KE, Birnbaum SB, Brateman LF, Hevezi JM et al. American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine. *J Am CollRadiol* 2007; 4:272-84.
24. Gibbons RJ. Leading the elephant out of the corner: the future of health care: presidential address at the American Heart Association 2006 scientific sessions. *Circulation* 2007; 115:2221-30.
25. Picano E. Informed consent in radiological and nuclear medicine examinations. How to escape from a communication Inferno. Education and debate. *BMJ* 2004; 329:578-80.
26. Picano E. Stress echocardiography: a historical perspective. Special article. *Am J Med* 2003; 114:126-30.

27. Picano E. *Stress Echocardiography*. 4th ed. Heidelberg, Germany: SpringerVerlag; 2003.
28. Picano E. *Dipyridamole-echocardiography test: historical background and physiologic basis*. *Eur Heart J* 1989; 10:365–76.
29. Ross J Jr. *Mechanisms of regional ischaemia and anti-anginal drug action during exercise*. *ProgCardiovasc Dis* 1989; 31:455–66.
30. Терновой С.К., Никонова М. Э., Акчуринов Р.С., Федотенков И. С., А.А. Ширяев А.А. *Возможности мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в оценке коронарного русла и вентрикулографии в сравнение с интервенционной коронаровентрикулографией*. *REJR* - 2013. - Том 3. №1. - С. 28-35.
31. Heron M, Hoyert DL, Murphy SL, et al. *Deaths: final data for 2006*. *Natl VitalStat Rep* 2009; 57:1–134.
32. Blankstein R, Shturman LD, Rogers IS, et al. *Adenosine-induced stress myocardial perfusion imaging using dual-source cardiac computed tomography*. *J Am CollCardiol* 2009; 54:1072–1084.
33. George RT, Arbab-Zadeh A, Miller JM, et al. *Adenosine stress 64- and 256-row detector computed tomography angiography and perfusion imaging: a pilot study evaluating the transmural extent of perfusion abnormalities to predict atherosclerosis causing myocardial ischemia*. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009; 2:174–182.
34. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. *Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association*. *Circulation* 2002; 105:539–542.
35. Slomka PJ, Nishina H, Berman DS, et al. *Automatic quantification of myocardial perfusion stress-rest change: a new measure of ischemia*. *J Nucl Med* 2004; 45:183–191.
36. Xu Y, Hayes S, Ali I, et al. *Automatic and visual reproducibility of perfusion and function measures for myocardial perfusion SPECT*. *J Nucl Cardiol* 2010; 17:1050–1057.
37. Delzescaux T, Frouin F, de Cesare A, et al. *Using an adaptive semiautomated self-evaluated registration technique to analyze MRI data for myocardial perfusion assessment*. *J Magnetic Reson Imaging* 2003; 18:681–690.
38. Achenbach S. *Stress computed tomography myocardial perfusion: steps, questions, and layers*. *J Am Coll Cardiol* 2009; 54:1085–1087.
39. Hoffman JI. *Transmural myocardial perfusion*. *ProgCardiovascDis* 1987; 29:429–464.
40. Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. *The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction*. *New Engl J Med* 2000; 343:1445–1453.
41. *Heart Disease and Stroke Statistics: Update 2005*. American Heart Association; 2005.
42. Iskander S, Iskandrian AE. *Risk assessment using single-photon emission computed tomographic technetium-99m sestamibi imaging*. *J Am Coll Cardiol*. 1998; 32:57–62.
43. Nagel E, Lehmkuhl HB, Bocksch W, et al. *Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress MRI: comparison with dobutamine stress echocardiography*. *Circulation*. 1999; 99:763–770.
44. Страздэнь Е.Ю., Шария М.А., Тарарак Э.М., Устюжанин Д.В. *Применение магнитно – резонансной томографии в определении стабильности атеросклеротической бляшки*. // *REJR* - 2013. - Том 3. №1. – С. 57- 61.
45. Wackers FJT, Bodenheimer M, Fleiss JL, Brown M. *Multicenter Study on Silent Myocardial Ischemia Investigators: factors affecting uniformity in interpretation of planar Thallium-201 imaging in a multicenter trial*. *J Am Coll Cardiol*. 1993; 21:1064–1074.
46. Грамович В. В., Синицын В. Е., Гордин М. П. и др. *Количественная оценка перфузии миокарда с помощью магнитно-резонансной томографии у больных хронической ишемической болезнью сердца* // *Кардиология*. -2004.- № 8.- С. 4–12.
47. Бокерия А. А., Бершвили И. И., Сигаев И. Ю. *Реваскуляризация миокарда, меняющиеся подходы и пути развития* // *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*.- 1999.- № 6.- С. 102–120.
48. Осиев А. Г., Гранкин Д. С., Редькин Д. А. и др. *Опыт проведения ретроградной реканализации хронической окклюзии правой коронарной артерии* // *Международ. журн. интервенционной кардиоангиологии: Тез. III Рос. съезда интервенционных кардиоангиологов*.- 2008.- № 14.- С. 72- 73.
49. Савченко А. П., Восьмиренко О. Д., Котляров П. М. *Коллатеральное кровообращение у больных с окклюзиями коронарных артерий* // *Сердечно-сосудистые заболевания*.- 2001.- № 3.- С. 91
50. Шумаков В. И., Остроумов Е. Н. *Радионуклидные методы диагностики в клинике ишемической болезни и трансплантации сердца*. М.: Дрофа, 2003. 224 с.
51. Schwitter J. *Myocardial perfusion imaging by cardiac magnetic resonance*. *J Nucl Cardiol*. 2006; 13:841–854.
52. Edelman RR, Li W. *Contrast-enhanced echo-planar MR imaging of myocardial perfusion: preliminary study in humans*. *Radiology*. 1994; 190:771–777.
53. Schwitter J, Debatin JF, von Schulthess GK, McKinnon GC. *Normal myocardial perfusion assessed with multishot echo-planar imaging*. *MagnResonMed*. 1997; 37:140–147.
54. Ding S, Wolff SD, Epstein FH. *Improved coverage in dynamic contrast-enhanced cardiac MRI using interleaved gradient-echo EPI*. *MagnResonMed*. 1998; 39:514–519.
55. Schwitter J, Sakuma H, Saeed M, Wendland MF, Higgins CB. *Very fast cardiac imaging*. *MagnReson Imaging Clin N Am*. 1996; 4:419–432.
56. Saeed M, Wendland MF, Sakuma H, et al. *Coronary artery stenosis: detection with contrast-enhanced MR imaging in dogs*. *Radiology*. 1995; 196:79–84.
57. Manning WJ, Atkinson DJ, Grossman W, Paulin S, Edelman RR. *First-pass nuclear magnetic resonance imaging studies using gadolinium-DTPA in patients with coronary artery disease*. *J Am Coll Cardiol*. 1991; 18:959–965.
58. Lauerma K, Virtanen KS, Sipila LM, Hekali P, Aronen HJ. *Multislice MRI in assessment of myocardial perfusion in patients with single vessel proximal left anterior descending coronary artery disease before and after revascularization*. *Circulation*. 1997; 96:2859–2867.
59. Matheijssen NA, Louwerenburg HW, van Ruyge F, et al. *Comparison of ultrafast dipyridamole magnetic resonance imaging with dipyridamole Sestamibi SPECT for detection of perfusion abnormalities in patients with one-vessel coronary artery disease: assessment by quantitative model fitting*. *MagnReson Med*. 1996; 35:221–228.

60. Eichenberger AC, Schuiki E, Kochli VD, et al. Ischemic heart disease: assessment with gadolinium-enhanced ultrafast MR imaging and dipyridamole stress. *J MagnReson Imaging*. 1994;4:425–431.
61. Al-Saadi N, Nagel E, Gross M, et al. Noninvasive detection of myocardial ischemia from perfusion reserve based on cardiovascular magnetic resonance. *Circulation*. 2000;101:1379–1383.
62. Sensky PR, Jivan A, Hudson NM, et al. Coronary artery disease: combined stress MR imaging protocol-one-stop evaluation of myocardial perfusion and function. *Radiology*. 2000;215:608–614.
63. Klocke FJ, Simonetti OP, Judd RM, et al. Limits of detection of regional differences in vasodilated flow in viable myocardium by first-pass magnetic resonance perfusion imaging. *Circulation*. 2001;104:2412–2416.
64. Schreiber WG, Schmitt M, Kalden P, et al. Dynamic contrast-enhanced myocardial perfusion imaging using saturation-prepared TrueFISP. *J MagnReson Imaging*. 2002;16:641–652.
65. Wang Y, Moin K, Akinboboye O, Reichek N. Myocardial first pass perfusion: steady-state free precession versus spoiled gradient echo and segmented echo planar imaging. *MagnReson Med*. 2005;54:1123–1129.
66. Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P. SENSE: sensitivity encoding for fast MRI. *MagnReson Med*. 1999;42:952–962.
67. Kellman P, Derbyshire JA, Agyeman KO, McVeigh ER, Arai AE. Extended coverage of first-pass perfusion imaging using sliceinterleaved TSENSE. *MagnReson Med*. 2004;51:200–204.
68. Plein S, Ryf S, Schwitter J, Radjenovic A, Boesiger P, Kozerke S. Dynamic contrast-enhanced myocardial perfusion MR imaging accelerated with k-t SENSE. *MagnReson Med*. 2007;58:777–785.